

© 2017 г. И.И. РЫСИН¹, В.Н. ГОЛОСОВ^{2, 3}, И.И. ГРИГОРЬЕВ¹, М.Ю. ЗАЙЦЕВА¹**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ДИНАМИКУ ТЕМПОВ РОСТА
ОВРАГОВ ВЯТСКО-КАМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ**¹Удмуртский государственный университет, Институт естественных наук, Ижевск, Россия²Казанский федеральный университет, Институт экологии и природопользования, Казань, Россия³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru, gollossov@gmail.com

Статья посвящена оценке влияния климатических изменений на скорости линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья (Республика Удмуртия), установленных на основе мониторинга 120 вершин, расположенных на 28 участках в пределах исследуемой территории, за период наблюдений 1978–2014 гг. Основное внимание уделяется изменению вклада талого и ливневого стока в линейный прирост оврагов за весь период проведения мониторинга, а также детальному анализу роли отдельных почвенно-климатических факторов на прирост оврагов за 1998–2014 гг. Установлено, что среднегодовые темпы линейного прироста оврагов сократились с 1.3 м/год в 1978–1997 гг. до 0.3 м/год в 1998–2014 гг. Падение темпов вызвано главным образом резким сокращением стока воды со склонов водосборов в период весеннего снеготаяния. На основании детальных наблюдений (повторные измерения дважды в год после весеннего снеготаяния и осенью в конце сезона выпадения ливневых дождей) за ростом оврагов на участках, расположенных рядом с г. Ижевск установлено, что если в 1978–1998 гг. 80% прироста оврагов было обусловлено талым стоком, то в период 1998–2014 гг. вклад талого стока в суммарный прирост сократился до 57%. Основное сокращение прироста оврагов в длину в период талого стока вызвано значительным уменьшением повторяемости зим с глубиной промерзания почвы свыше 50 см. Показано, что за 1983–2014 гг., по сравнению с периодом 1960–1982 гг., в Удмуртии возросло число стокообразующих ливней, что позволяет утверждать, что вклад ливневого смыва в линейный рост оврагов до начала 1980-х годов был ниже 20%. Существенных изменений в периодичности ливневых осадков в течение 1983–2014 гг. не произошло. Установлено, что основной вклад в прирост оврагов в теплое время года дает сток воды с водосбора, формирующийся при выпадении, свыше 40 мм ливневых осадков.

Ключевые слова: скорости роста оврагов, изменения климата, талый и ливневый сток, Удмуртская Республика.

Введение

Динамика развития оврагов, сформировавшихся в связи с распашкой земель, в основном определяется влиянием трех основных факторов: постепенным сокращением площади водосборов в связи с регрессивным отступанием вершин оврагов по направлению к водоразделу, сменой землепользования на водосборе и климатическими изменениями [1–4]. Фактор сокращения площади водосбора неизбежно формирует в целом понижающий тренд линейного прироста оврагов, прошедших в первые годы с момента своего формирования стадию активного роста [1, 5]. Смена землепользования способствует резкому изменению темпов прироста вплоть до полной остановки, как это наблюдается, например, при забрасывании пахотных земель на равнинах [5, 6]. Климатические изменения могут разнонаправленно сказываться в различных регионах в зависимости от направленности изменений почвенно-метеорологических факторов [4, 7].

Согласно данным метеорологических наблюдений потепление климата наблюдается уже практически четыре десятилетия [8]. Следует отметить, что процесс глобального потепления, который начался со второй половины 1970-х гг., в пределах Европейской части России сказывается, прежде всего, на формировании поверхностного стока в весеннее время. Установлено, что в южной половине ЕТР существенно

сократилась доля половодного стока в суммарном стоке, тогда как, напротив, вырос меженный сток в летнее время [9, 10], что однозначно указывает на резкое снижение поверхностного стока с пахотных склонов в период снеготаяния. Одновременно вырос и сток рек в зимнее время [9, 11], что обусловлено общим повышением зимних температур и некоторым ростом осадков. Согласно гидрологическим данным сокращение уровней половодья, и их доли в суммарном стоке рек, а также увеличение меженного стока затронули только бассейны рек южной половины Европейской части России, принадлежащих бассейнам Каспийского, Азовского и Черного морей. Значимых изменений во внутригодовом распределении стока рек Арктического бассейна не выявлено [9]. В этой связи возникают вопросы: какое влияние климатические изменения оказывают на динамику роста оврагов в пределах Восточно-Европейской равнины и сопредельных равнинных территорий Европы? Как меняется соотношение талого и ливневого стока на склонах и склоновых водосборах и их вклад в линейный прирост оврагов? Наиболее точный ответ может быть получен на основе результатов длительных мониторинговых наблюдений за изменениями склонового смыва на пашне и/или за ростом вершин оврагов с распахируемыми водосборами. Но для объяснения влияния климатических изменений на темпы регрессивного роста оврагов необходимо проанализировать гидрометеорологические условия формирования склонового стока в периоды весеннего снеготаяния и выпадения ливневых дождей.

В пределах умеренного климатического пояса склоновый сток и смыв формируется на пахотных землях в период весеннего снеготаяния и при выпадении интенсивных ливней в теплое время года. Предполагается, что их долевого вклад в суммарный сток наносов со склонов речных бассейнов изменяется с юга на север с постепенным увеличением доли талого смыва [12]. Количественные соотношения темпов смыва в период снеготаяния и при выпадении ливней, полученные на основе длительных наблюдений на стоковых площадках в Беларуси [13], позволяют оценить долю ливневого смыва примерно в 60% [12]. Однако формирование стока воды на склоновых водосборах и на стоковых площадках существенно отличаются друг от друга. Поэтому более достоверны результаты длительных наблюдений за стоком воды и наносов со склоновых водосборов, а при их отсутствии данные мониторинга линейного роста вершин оврагов при проведении независимых измерений после весеннего снеготаяния и в конце периода выпадения ливневых дождей в теплое время года. Известно сравнительно немного исследований, в которых проведено непосредственное сопоставление вклада талого и ливневого стока в линейный рост вершин оврагов. Результаты мониторинга прироста оврагов в Европейской части России, проводившиеся преимущественно в 1970–1980-е годы в Среднем Поволжье, включая Вятско-Камское междуречье, а также в Калужской области, указывают на то, что около 80% прироста приходится на период снеготаяния, тогда так вклад ливневого стока составляет 20% [2, 14, 15]. Результаты 16-летнего мониторинга (1981–1996 гг.) линейного прироста вершин оврагов на Молдавском плато в Румынии позволили оценить вклад талого и ливневого стока в 57% и 43% соответственно [16]. При этом более 66% суммарного прироста вершин произошло за четыре года, которые характеризовались выпадением сильных ливней и/или значительным стоком в период снеготаяния. Выявить отчетливый тренд изменения темпов суммарного прироста вершин оврагов, а также вклада талого и ливневого стока по итогам длительного мониторинга в Румынии не удалось. Непосредственные измерения стока воды и наносов и линейного роста донных оврагов на Люблинской возвышенности в Польше в период 2003–2005 гг. выявили доминирование (86%) талого стока, как основной причины отступления вершин. Однако анализ метеорологических данных и предшествующих наблюдений показал, что на самом деле вклад в линейный прирост оврагов экстремальных ливней существенно выше, чем талого стока [17].

В нашем исследовании проводится анализ влияния изменений климата за период 1978–2014 гг. на темпы линейного роста агрогенных оврагов Вятско-Камского

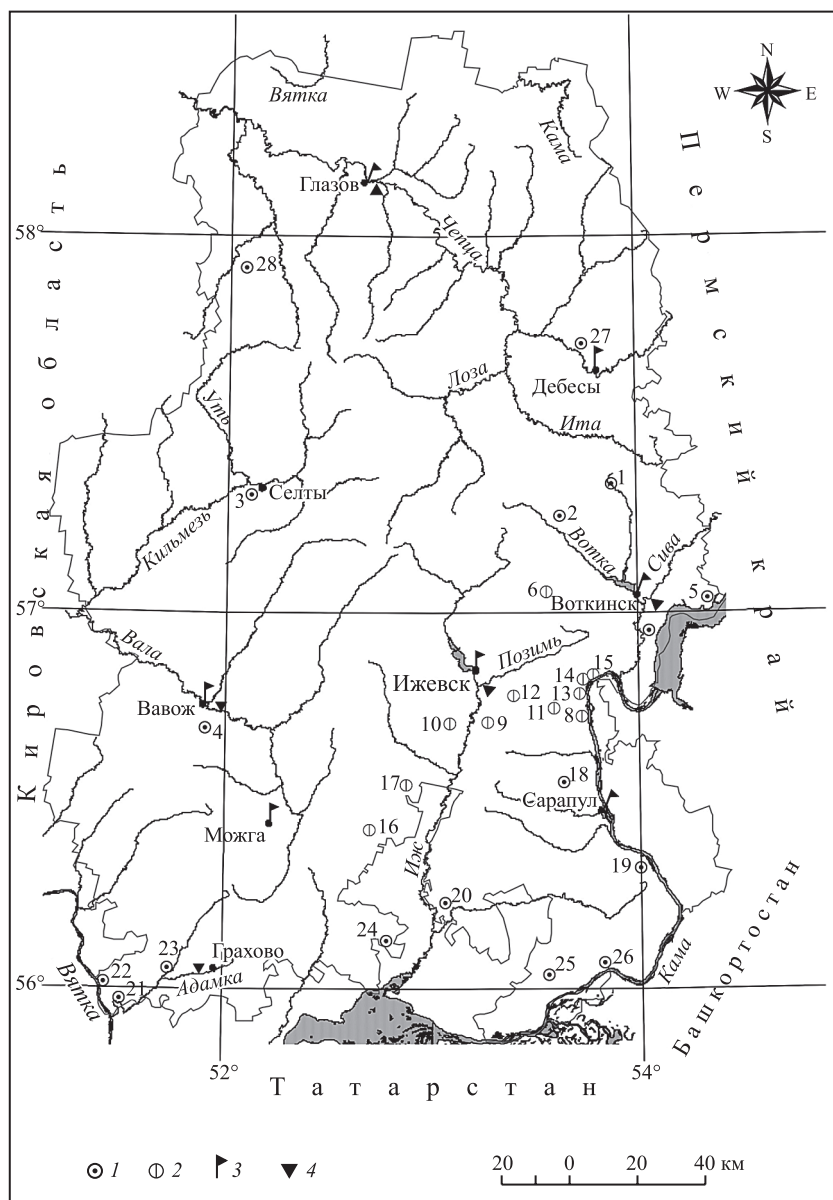


Рис. 1. Расположение участков мониторинга линейного прироста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья

Участки с ежегодными наблюдениями: 1 – в осенний период, 2 – после снеготаяния и в осенний период; 3 – метеорологические станции; 4 – гидрологические посты. Цифрами на карте указаны номера ключевых участков

междуречья. Данные о темпах роста оврагов получены по результатам мониторинга роста более 120 вершин оврагов. Число оврагов менялось в процессе наблюдений в связи с добавлением новых или исключением ряда оврагов при полной остановке их роста из-за изменения землепользования или проведения работ по сооружению автомагистралей. Овраги расположены в различных частях исследуемой территории. В течение всего периода наблюдений их водосборы были преимущественно

распахиваемыми. Все это позволяет, привлекая данные метеорологических и гидрологических наблюдений за этот период, проследить влияние климатических изменений на пространственно-временные изменения интенсивности овражной эрозии (рис. 1). Поскольку результаты мониторинга темпов роста оврагов за период 1978–1997 гг., а также оценка влияния на них гидроклиматических факторов были опубликованы авторами данной работы ранее [2, 3, 18], то основное внимание уделено анализу данных, полученных на втором этапе наблюдений в 1998–2014 гг.

Анализ влияния почвенно-климатических факторов на темпы линейного роста оврагов

Сток воды со склоновых водосборов в период весеннего снеготаяния во многом зависит от сочетания метеорологических условий зимнего периода, которые определяют состояние почвенного покрова, а именно глубину промерзания и влажность почв. Важную роль играют запасы воды в снежном покрове и характер его перераспределения по площади водосбора и собственно метеорологические условия периода снеготаяния. Среди них важнейшими являются тип и продолжительность снеготаяния. Нами обобщены данные мониторинга склонового стока на полевых водосборах юга лесной зоны в Калужской области в течение 14 лет [19] и результаты аналогичных наблюдений, проводившихся в различных частях Европейской части России [20–23]. Это позволило систематизировать важнейшие почвенно-метеорологические факторы, влияющие на темпы регрессивного роста вершин оврагов с преимущественно пахотными водосборами в период весеннего снеготаяния (рис. 2).

Несмотря на то, что предложенная схема влияния различных факторов может рассматриваться как универсальная для условий снеготаяния в пределах равнинных территорий, она не в полной мере учитывает влияние отдельных факторов и нуждается в дополнительных пояснениях. Это касается в первую очередь уточнения понятия мерзлая почва. Здесь под ней понимается почва, практически полностью непроницаемая для фильтрации воды. Для различных типов почв, в зависимости от ее механического состава и степени увлажнения, глубина промерзания, полностью препятствующая фильтрации воды в почву, изменяется в диапазоне от 30 до 60 см. Также крайне важны для формирования стока воды на склонах степень неравномерности залегания снега на овражном водосборе и особенности его распределения по площади. Чем выше неравномерность снежного покрова, тем больше вероятность формирования более высоких расходов воды в вершине оврага, так как темпы снеготаяния резко возрастают с момента освобождения части склонов от снега за счет разницы в альбедо между снегом и оголенной почвой. Следовательно, при большей неравномерности залегания снежного покрова выше вероятность сохранения достаточно более высоких запасов воды в снеге на момент появления проталин и выше вероятность формирования больших расходов воды в ручьях, стекающих в вершины оврагов. Особенно важно это условие при солярном типе снеготаяния, когда благодаря дополнительному повышению температуры воздуха и поверхности почвы в связи с воздействием прямых солнечных лучей темпы таяния снега стремительно возрастают.

Предлагаемая схема отражает контрастные случаи условий снеготаяния. В действительности из-за того, что тип снеготаяния редко бывает чисто солярный или чисто адвективный в течении всего периода снеготаяния, чаще встречаются промежуточные варианты. Также снеготаяние может продолжаться от 7 до 14 дней и не падать ни в одну из приведенных в схеме категорий. Тем не менее, в данной схеме систематизированы взаимные сочетания почвенно-метеорологических факторов, которые способствуют максимальным для данного оврага темпам регрессивного роста в период весеннего снеготаяния.

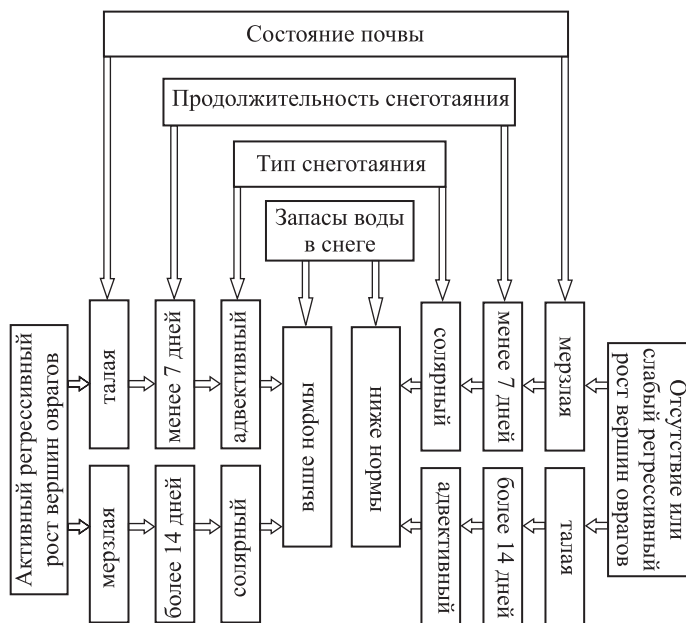


Рис. 2. Схема влияния различных сочетаний почвенно-метеорологических факторов на темпы регрессивного роста оврагов с пахотными водосборами в период весеннего снеготаяния

Объекты и методы исследования

Овраги, на которых проводятся мониторинговые наблюдения, расположены на востоке Русской равнины, в южной половине Вятско-Камского междуречья, в пределах Удмуртской Республики. Для Удмуртии характерен умеренно теплый и влажный климат с продолжительной зимой и относительно коротким летом. Среднегодовая температура изменяется в интервале $+2.3 - +3.5$ °C, при среднемноголетних температурах января и июля $-13.3 - -11.9$ °C, и $+18.3 - +19.7$ °C соответственно. Устойчивый снежный покров держится почти полгода 155–175 дней, а среднегодовая сумма осадков составляет 500–650 мм.

В 1955 г. площадь пашни была максимальной, за последующие 35 лет (1955–1990 гг.) сокращение составило менее 3%, а после 1990 г. темпы сокращения обрабатываемых пахотных угодий (посевных площадей) увеличились и в интервале 1990–2010 гг. площадь обрабатываемой пашни уменьшилась почти на четверть, составив 76.5% по отношению к 1990 г. [2, 24]. В целом по России за указанный период площадь обрабатываемых земель сократилась на треть. В дальнейшем процесс забрасывания полей по существу остановился.

При оценке влияния гидрометеорологических факторов на темпы линейного роста агрогенных оврагов, необходимо учитывать их пространственно-временные изменения и принимать во внимание, что помимо них на индивидуальных особенностях развития овражных форм сказывается целый ряд морфологических характеристик водосборов оврагов и собственно вершин оврагов. Кроме того, условия землепользования, включая долю пашни на водосборе, состав сельскохозяйственных культур, входящих в севообороты и, наконец, способы обработки почвы также определяют темпы прироста оврагов. Важно отметить, что в связи с забрасыванием части пашни и ее последующим зарастанием мелколесьем с плотным травянистым покровом, примерно треть оврагов, на которых проводились наблюдения, начиная с 1978 г., прекратили свой рост. Данные овраги были исключены из расчетов темпа прироста оврагов

в длину за период 1998–2014 гг., включая те из них, которые прекратили свой рост внутри данного цикла наблюдений.

В то же время на многих оврагах, которые продолжают развиваться, несколько изменились условия стока за счет отступления пашни от вершин оврагов. Если ранее вершины большинства склоновых оврагов располагались на расстоянии не более 10 м, то после распада СССР примерно в половине случаев оно возросло до нескольких десятков метров сокращением площади пашни. Наконец, следует учитывать, что в связи регрессивным продвижением вершины оврага в сторону водораздела и постоянным сокращением площади той части водосбора оврагов, с которой сток воды поступает в вершину оврага, темпы роста прежде всего, склоновых оврагов неизбежно снижаются. Все перечисленные причины объективно способствовали снижению среднегодовых темпов роста оврагов вне зависимости от влияния климатических факторов.

На большей части участков мониторинга измерения линейного прироста вершин проводятся только осенью, но на участках, расположенных на небольшом удалении от Ижевска (рис. 1), измерения ведутся еще и после завершения снеготаяния, что позволяет оценивать отдельно вклад талого и ливневого стока в линейный рост оврагов.

В пределах Вятско-Камского междуречья было выбрано 6 метеорологических станций, расположенных на расстоянии от 6 до 27 км от участков мониторинга и 4 гидрологических поста (рис. 1), на которых собраны следующие данные: максимальный суточный слой осадков в летние месяцы, сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы, максимальные запасы воды в снеге, глубина промерзания почвы, продолжительность снеготаяния, максимальный расход воды в период весеннего половодья и годовая норма стока воды, проходящая через измерительный створ, выраженная в л/с. На основе этих данных дополнительно были рассчитаны: интенсивность снеготаяния, как производная от деления запасов воды в снеге на продолжительность снеготаяния, и интенсивность половодного стока, полученная по соотношению между максимальным расходом воды в период половодья и годовой нормой стока. Выбор указанных выше гидрометеорологических параметров основывался на предположении, что они могут влиять на темпы роста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья в период весеннего снеготаяния или при выпадении стокоформирующих дождей в теплое время года.

Линейный прирост вершин измерялся относительно предварительно зафиксированных на местности реперов при помощи рулетки и по ряду оврагов на основе сопоставления результатов тахеометрических съемок вершин оврагов, включая бровку и днище. Подробная информация о числе оврагов и их типах, а также темпах роста оврагов различного типа, на каждом из наблюдаемых участков подробно изложены в ранее опубликованных статьях [2, 18, 25].

Результаты

Наблюдения за линейным ростом всех оврагов показали, что в период 1998–2014 гг. произошло резкое, более чем в четыре раза снижение темпов роста оврагов по сравнению с 1978–1997 гг. При этом из расчетов были исключены овраги, приостановившие свой рост в этот период из-за забрасывания пашни. Сокращение средних многолетних темпов с 1.3 м/год в 1978–1997 гг. до 0.3 м/год в 1998–2014 гг. нельзя объяснить только постепенным “старением” оврагов, за счет устойчивого сокращения площади их водосборов по мере регрессивного отступления вершин оврагов. В частности среднемноголетние темпы роста оврагов за сравнимые по продолжительности периоды 1959–1970 и 1970–1980 гг. установленные на основе дешифрирования аэрофотоснимков, составляли 2.3 и 1.9 м/год [2, 3]. Учитывая, что только с 1976 г. началось усилившееся впоследствии потепление климата, то можно предположить, что именно климатические изменения сказались на снижении темпов в наибольшей степени.

Таблица 1

Гидрометеорологические условия, среднегодовые темпы линейного роста оврагов и доля прироста в период весеннего стока на участках мониторинга в районе г. Ижевска

Год	Qm/Qn	T , сут	$Hв$, мм	Mn , см	V , м/год	Rs , мм	Rd , мм	Es
1998	19.1	11	170	96	0.40	156	27.4	78
1999	9.8	20	226	28	0.16	217	31.4	62
2000	11.3	14	165	59	0.20	281	70.7	36
2001	15.6	16	208	47	0.20	149	29.3	71
2002	14.4	12	180	80	1.82	155	22.8	74
2003	8.4	11	146	56	0.25	219	25.2	65
2004	5.7	34	151	25	0.42	283	48.2	28
2005	8.9	11	143	71	0.33	242	43.3	55
2006	6.5	16	186	58	0.09	168	31.6	48
2007	4.9	16	120	102	0.25	214	22.4	46
2008	7.9	15	151	74	0.06	152	15.3	61
2009	6.5	12	82	104	0.32	142	18.7	57
2010	8.1	17	122	129	0.54	129	16.7	54
2011	8.2	21	243	25	0.41	154	17.4	64
2012	26.2	22	137	100	0.29	321	62	25
2013	8.9	18	151	84	0.20	115	20.2	46
2014	6.2	25	146	51	0.46	256	41	38
Среднее					0.38			53.4

Примечание. Qm/Qn — интенсивность половодного стока, T — продолжительность снеготаяния, $Hв$ — максимальные запасы воды в снеге, Mn — максимальная глубина промерзания почвы, V — средние темпы роста оврагов, Rs — сумма осадков летних месяцев, Rd — максимальное суточное количество осадков по летним месяцам, Es — доля весеннего прироста, в% от годового.

Согласно фактическим измерениям на участках мониторинга, расположенных на небольшом удалении от г. Ижевска (восток Вятско-Камского междуречья), в среднем 53% прироста оврагов, обусловлено весенним стоком (табл. 1). При этом в период ливневого стока, даже учитывая резкое снижения суммарного годового прироста оврагов с 1.3 до 0.38 м/год, произошло незначительное сокращение прироста оврагов.

В климатических условиях Вятско-Камского междуречья ключевым параметром, определяющим слой поверхностного стока со склонов овражных водосборов и темпы отступления вершин оврагов, является глубина промерзания почвы. Это связано с тем, что в Удмуртии снеготаяние продолжительностью свыше 14 дней, происходит гораздо чаще, чем дружное снеготаяние длительностью менее 7 дней, которое бывает исключительно редко. Фактически в период 1998–2014 гг. снеготаяние в пределах всего Вятско-Камского междуречья в конкретные годы проходило достаточно синхронно, а его продолжительность ни разу не была менее 7 дней (рис. 3).

При этом глубина промерзания почв в период 1998–2014 гг. варьировала в широких пределах, как по отдельным годам, так и по площади территории. Только трижды (2009, 2010 и 2012 гг.) на всех метеостанциях зафиксирована глубина промерзания свыше 90 см, что полностью предотвращает фильтрацию талой воды в почву. Напротив, трижды (1999, 2004, 2014 гг.) по всей территории глубина промерзания не превышала 50 см, что предполагает существенное снижение коэффициента поверхностного стока со склонов за счет фильтрации части воды в почву. В этих случаях возрастает доля внутрипочвенного стока, выходящего на поверхность в понижениях рельефа. В остальные годы глубина промерзания либо очень сильно варьировала по площади (10–110 см), либо, будучи более равномерно распределенной по площади Вятско-Камского междуречья, изменялась в интервале ± 35 см, но при этом была в разных частях

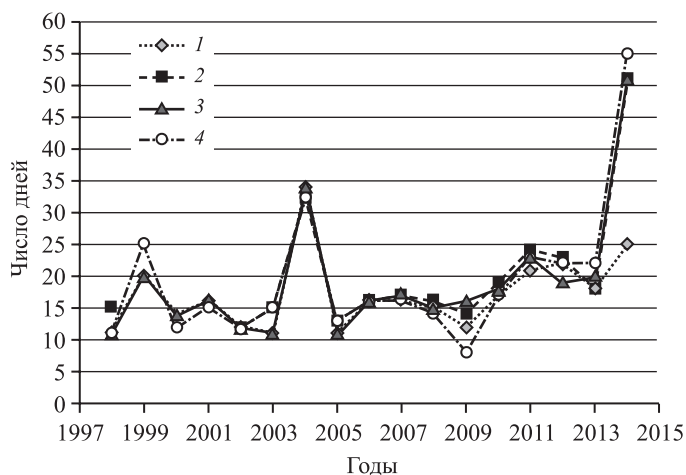


Рис. 3. Продолжительность снеготаяния в период 1998–2014 гг. в разных частях Удмуртии
1 – м/с Ижевск, 2 – м/с Воткинск, 3 – м/с – Сарапул, 4 – м/с Вавож

территории как выше пороговой величины в 40–50 см, так и ниже ее. Такая ситуация предполагает снижение коэффициента поверхностного стока в среднем по площади ниже единицы. Для сравнения в период мониторинга за ростом оврагов 1978–1997 гг. ни разу глубина промерзания не снижалась ниже 60 см [2].

Глубокое промерзание почвы способствует повышению доли половодного стока в суммарном годовом стоке, но не определяет максимальный сток половодья, так как он помимо промерзания почвы, зависит и от динамики изменения температур в период снеготаяния и неравномерности залегания снежного покрова. Тем не менее, в период проведения мониторинга 1978–1997 гг. была выявлена достаточно высокая корреляционная связь ($r = 0.77 \pm 0.14$) между годовым приростом оврагов и интенсивностью половодного стока, которая определялась как отношение максимальных расходов воды к норме стока наиболее близкой к объекту мониторинга малой реки [3]. Наличие подобной связи даже при достаточной удаленности объектов мониторинга роста вершин оврагов от измерительных створов по измерению расходов воды на малых реках указывает на то, что ключевым фактором регрессивного роста оврага служит расход воды, проходящий через его вершину. Одновременно, это указывает на то, что именно сток воды со склонов овражных водосборов в период снеготаяния доминировал в этот период, что подтверждается результатами прямых наблюдений за приростом оврагов после завершения снеготаяния и сезона летних ливней [2].

Зависимость интенсивности половодного стока от глубины промерзания почв в пределах речных бассейнов Вятско-Камского междуречья для периода наблюдений 1998–2014 гг. обнаруживает четкую закономерность: значительная (свыше 50 см) глубина промерзания почв не всегда приводит к резкому росту половодного стока, но только при условии глубокого промерзания почв он может существенно (>15 раз) превысить годовую норму стока данной реки (рис. 4).

Таяние снега на открытых незалесенных пространствах в весеннее время по-разному происходит на склонах “теплых” (южных и западных румбов) и “холодных” (северные и восточные румбы) экспозиций. Более быстро оно идет на склонах теплых экспозиций за счет прямой солнечной радиации, способствующей ускорению снеготаяния. При этом в период наблюдений 1978–1997 гг. прирост был вдвое выше на оврагах с водосборами “холодных” румбов (табл. 2). Можно предположить две возможных причины данного явления. Так как таяние снега на склонах “холодных” экспозиций продолжается дольше по времени, то гораздо выше вероятность того, что

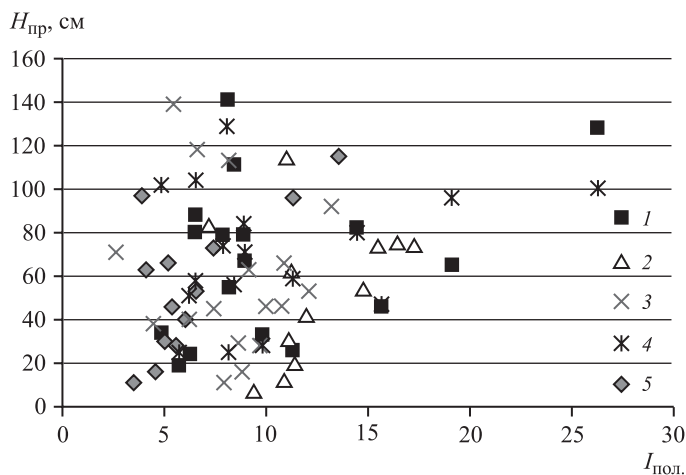


Рис. 4. Зависимость интенсивности половодного стока от глубины промерзания почвы на малых реках Удмуртии
1 – м/с Глазов, р. Чепца; 2 – м/с Вавож, р. Вала; 3 – м/с Ижевск, р. Позимь; 4 – м/с Воткинск, р. Сива; 5 – м/с Сарапул, р. Адамка

на завершающей стадии при более высоких температурах воздуха резко ускоряется таяние и формируются значительные расходы воды, способствующие размыву уже полностью оттаявших к концу снеготаяния вершин оврагов. Другое объяснение связано с различиями в стадиях развития оврагов, сформированных на “теплых” и “холодных” склонах. Последние осваивались несколько позже, так как больше времени требуется для снижения влажности почвы на них после снеготаяния и, соответственно, на склонах “холодных” экспозиций можно проводить посевные работы. Это важно в климатических условиях Удмуртии, где достаточно прохладное и непродолжительное лето, сокращает вегетационный период. Обе причины, могли сказаться на выявленных различиях. В пользу первой из них говорит то обстоятельство, что при общем падении темпов прироста оврагов в период мониторинга 1998–2014 гг., которое во многом было связано с сокращением поверхностного стока в период снеготаяния, среднегодовые темпы прироста оврагов “теплых” и “холодных” румбов практически сравнялись (табл. 2). Вторая версия подтверждается существенно более высокими (>4 м/год) по сравнению с остальными темпами прироста оврагов, развивающихся на склонах северо-западной экспозиции в период наблюдений 1978–1997 гг. (табл. 2), что указывает на более раннюю стадию развития этих оврагов. В подавляющем большинстве случаев крутые склоны речных долин исследуемого региона ориентированы к “теплым” румбам, что говорит о развитии южного варианта климатической асимметрии [26–28]. В долинах с резко выраженной асимметрией обычно наблюдаются

Таблица 2

Среднегодовые темпы линейного прироста вершин оврагов с водосборами различной экспозиции за два временных интервала

Экспозиция	С	Ю	З	В	СЗ	ЮВ
Период мониторинга	1998–2014 гг.					
Средняя скорость роста, м/год	0.37	0.30	0.32	0.21	0.36	0.44
Период мониторинга	1978–1997 гг.					
Средняя скорость роста, м/год	1.49	0.83	1.20	0.95	4.51	0.87

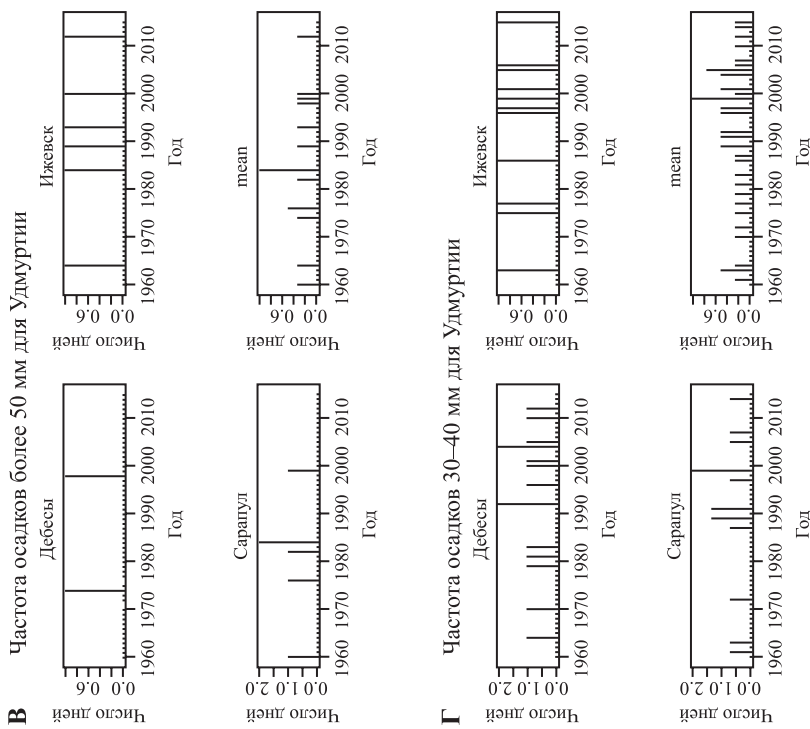
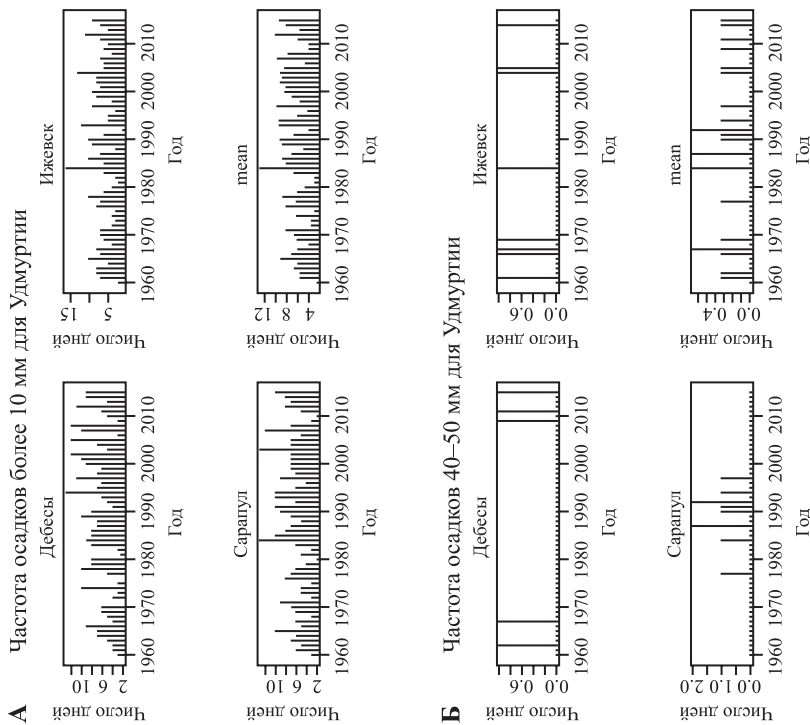


Рис. 5. Повторяемость (число дней) с осадками более 10 мм (А), 40–50 мм (Б), более 50 мм (В) и 30–40 мм (Г) для метеостанций Дебесы, Ижевск, Сарапул и в среднем по территории Удмуртии за период 1960–2014 гг.

и максимальные мощности (>10 – 12 м) делювиально-солифлюкционных отложений, которые приурочены к пологим склонам. В таких долинах складываются благоприятные условия для развития овражной эрозии. На крутых склонах возникает серия коротких придолинных оврагов, а на противоположных – густая сеть длинных оврагов с многочисленными отвешками и высокими темпами роста [2].

Таким образом, в период 1998–2014 гг. резкое увеличение зим с частыми оттепелями и изменчивой глубиной промерзания, часто не превышающей пороговую величину в 50 см, привело к значительному снижению вклада весеннего стока в линейный прирост вершин оврагов.

Рост оврагов в теплое время года обусловлен формированием поверхностного стока на их водосборах при выпадении ливней. При этом помимо слоя и интенсивности ливневых осадков важным условием, влияющим на коэффициент поверхностного стока со склонов овражного водосбора, является степень увлажнения почвы на момент выпадения ливня. Так в ряде случаев сильное переувлажнение почв происходит в связи с длительными осенними дождями низкой интенсивности. В этих случаях даже обычный дождь со слоем >10 мм может привести к формированию поверхностного стока. Однако наиболее мощный ливневой сток формируется при экстремальных дождях со слоем осадков более 40 мм. На Вятско-Камском междуречье в теплое время года выпадает сравнительно немного осадков с суточным слоем >10 мм (рис. 5А). При этом, несмотря на определенную цикличность выпадения, отчетливо выделяется два периода (1960–1982 и 1983–2014 гг.) с различной повторяемостью сильных дождей. Очевиден существенный прирост ливней после 1983 г., что, несомненно, связано с климатическими изменениями.

Дожди со слоями осадков 10–20, 20–30 и 30–40 мм относительно равномерно выпадают по площади, а их среднегодовая повторяемость постепенно убывает по мере увеличения слоя осадков. При этом осадки 40–50 мм и выше, которые, чаще всего, приводят к формированию поверхностного стока, охватывают сравнительно малую площадь (рис. 5Б, 5В).

Обращает на себя внимание, что если число дождей со слоем 40–50 мм относительно равномерно распределено внутри периода, для которого проводится оценка, с максимумом с середины 1980-х до середины 1990-х, то ливни со слоем выше 50 мм за последние 14 лет выпадали достаточно редко (рис. 5В). При этом максимум повторяемости ливней со слоем 30–40 мм смещен по времени относительно максимума ливней со слоем 40–50 мм (рис. 5Г).

Таким образом, на основе анализа пространственно-временного распределения ливневых осадков, можно утверждать, что в период, предшествующий началу мониторинга роста оврагов (1978 г.) вклад ливневого стока в суммарный прирост оврагов был заведомо ниже 20%, при том, что темпы роста оврагов, установленные на основе дешифрирования аэрофотоснимков был в 1.8 и 1.5 раза выше, чем в период наблюдений 1978–1997 соответственно в 1960–1970 и 1970–1980 гг. [2, 3].

Долевой вклад ливневого стока в линейный прирост оврагов резко возрастает в годы с выпадением ливневых дождей со слоем выше 40 мм (табл. 1). Фактически в эти же годы отмечаются максимум сумм осадков за период 1998–2014 гг., выпадающих в летние месяцы, что позволяет использовать этот показатель для оценки возможного влияния ливневого стока на регрессивный рост оврагов при отсутствии данных о суточном слое осадков. Согласно данным фактических наблюдений, с учетом резкого снижения суммарного годового прироста оврагов с 1.3 до 0.38 м/год, произошло и незначительное сокращение прироста оврагов в период ливневого стока, что согласуется с трендом небольшого снижения повторяемости ливней со слоем >40 мм (рис. 5Б, 5В).

Выводы

На основе мониторинговых наблюдений за линейным приростом оврагов с распахиваемыми водосборами, расположенных на ряде участков в пределах Вятско-Камского междуречья выявлено сокращение средних годовых темпов прироста с 1.3 м/год в период 1978–1997 гг. до 0.3 м/год в 1998–2014 гг.

Установлено, что произошедшее в результате проведения мониторинга более чем четырехкратное сокращение темпов линейного прироста вершин агрогенных оврагов в период 1998–2014 гг. по сравнению с предшествующим периодом мониторинга (1978–1997 гг.) обусловлено значительным снижением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния с их водосборов, которое в свою очередь связано со снижением глубины промерзания почв в зимние месяцы. При этом линейный прирост оврагов в период формирования ливневого стока снизился совсем немного, что в итоге привело к более, чем двукратному росту долевого вклада ливневого стока с 20% в период 1978–1997 до 47% в период 1998–2014 гг. Наиболее значимый вклад ливневого стока в регрессивный рост оврагов ожидаемо отмечается в годы с выпадением ливней со слоем свыше 40 мм, что позволяет принимать эту величину в качестве пороговой при оценке влияния ливневого стока на темпы линейного роста агрогенных оврагов.

Влияние гидроклиматических параметров на темпы прироста оврагов в период весеннего снеготаяния носит более комплексный характер. Предложена схема влияния различных сочетаний почвенно-метеорологических факторов на темпы регрессивного роста оврагов с пахотными водосборами в период весеннего снеготаяния, позволяющая оценивать вероятность формирования значительного поверхностного стока и, как следствие, более интенсивного прироста вершин оврагов. При этом, для Вятско-Камского междуречья, необходимым, но не единственным условием формирования интенсивного склонового стока на водосборах агрогенных оврагов, является глубина промерзания почв, которая должна составлять не менее 50 см. Установлено, что выявленное в период проведения мониторинга в 1978–1997 гг. влияние экспозиции склонов, выразившееся в более интенсивном росте оврагов с водосборами “холодных” экспозиций, никак не проявилось в период наблюдений 1998–2014, что также обусловлено резким снижением вклада талого стока в суммарный ежегодный прирост оврагов.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 15-17-20006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овражная эрозия востока Русской равнины / Дедков А.П. Казань: Изд-во КазГУ, 1990. 142 с.
2. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во УдмГУ, 1998. 274 с.
3. Рысин И.И. О современном тренде овражной эрозии в Удмуртии // Геоморфология. 1998. № 3. С. 92–101.
4. Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Bezerra J.F.R., Bolysov S., Dvinskih A., Frankl A., Fuseina Y., Guerra A.J.T., Haregeweyn N., Ionita I., Makanzu Imwangana F., Moseyersons J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y.V., and Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat? // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 154. P. 336–355.
5. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 169 с.
6. Valentin C., Poesen J., and Li Y. Gully erosion: Impacts, factors and control // Catena. 2005. Vol. 63. P. 132–153.
7. Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G., and Valentin C. Gully Erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs // Catena. 2003. Vol. 50. P. 91–133.
8. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 6. С. 5–17.

9. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишников Е.С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. Вып. 4. С. 4–20.
10. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Бугров А.А. Особенности формирования современных ресурсов подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 5. С. 457–466.
11. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. Изменение зимнего стока рек европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 581–588.
12. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
13. Жилко В.В., Тищук Л.А., Хох И.Я. Жидкий и твердый сток на склоновых землях // Тр. БелНИИ почвоведения и агрохимии. 1991. Вып. 27. С. 28–46.
14. Бутаков Г.П., Зорина Е.Ф., Никольская И.И., Рысин И.И., Серебренникова И.А., Юсупова В.В. Тенденции развития овражной эрозии в Европейской России // Эрозионные и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 2000. Вып. 3. С. 52–62.
15. География овражной эрозии / Веретенникова М.В., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Любимов Б.П., Никольская И.И., Прохорова С.Д. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
16. Ionita I. Gully development in the Moldavian Plateau of Romania // Catena. 2006. Vol. 68. P. 133–140.
17. Rodzik J., Furtak T., and Zglobicki W. The impact of snowmelt and heavy rainfall runoff on erosion rates in a gully system, Lublin Upland, Poland // Earth Surface Processes and Landforms. 2009. Vol. 34. № 14. P. 1938–1950.
18. Рысин И.И., Григорьев И.И. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестн. УдмГУ. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 137–146.
19. Литвин Л.Ф., Голосов В.Н., Добровольская Н.Г., Иванова Н.Н., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф. Стационарные исследования эрозии почв при снеготаянии в центральном Нечерноземье // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1998. Т. 11. С. 57–76.
20. Брауде И.Д. Рациональное использование эродированных серых лесных почв Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Лесная промышленность, 1976. 72 с.
21. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 256 с.
22. Барабанов А.Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. 156 с.
23. Медведев И.Ф., Шабаетов А.И. Эрозионные процессы на пашне Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1991. № 11. С. 61–69.
24. Акмаров П.Б., Князева О.П., Рысин И.И. Агроклиматический потенциал эффективности земледелия // Вестн. Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. Вып. 2. 2014. С. 89–96.
25. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н. Динамика линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже столетий // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. в печати.
26. Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1970. 256 с.
27. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Трофимов А.М., Ступишин А.В. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. 224 с.
28. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. 144 с.

Поступила в редакцию 17.03.2016

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE RATES OF GULLY GROWTH IN THE VYATKA-KAMA WATERSHED

I.I. RYSIN¹, V.N. GOLOSOV^{2,3}, I.I. GRIGORYEV¹, M.Yu. ZAITCEVA¹

¹*Udmurt State University, Institute of natural sciences, Izhevsk, Russia*

²*Kazan Federal University, Institute of ecology and nature management, Kazan, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru, gollossov@gmail.com

S u m m a r y

Mean annual rates of gully head retreat were assessed based on the results of monitoring (period 1978–2014) of more than 120 gully heads located within 28 sites over the Vyatka-Kama interfluvial area. The main attention was given to evaluation of the ratio of snowmelt- and rainstorm-induced erosion in the total figure of gully head retreat in the entire period of observation. The other focus was the evaluation of the relative contribution of different soil and climatic factors to the gully growth rates in the period 1998–2014. It was found that the mean annual gully head retreat rates had decreased from 1.3 m/year in 1978–1997 to 0.3 m/year in 1998–2014. Observations at a number of locations nearby the Izhevsk city allowed to estimate that the total amount of gully head retreat associated with the snowmelt season had decreased from 80% in 1978–1998 to 57% in the following period. This decline was driven by the considerable decrease of snowmelt water runoff, which in turn was caused by warming of winters and in particular by the decrease of recurrence of winters when the average depth of frozen soil exceeded 50 cm. In the Udmurt Republic, the number of rainstorms capable of production of surface water runoff had increased in 1983–2014 by 20% compared to the period 1962–1982. Therefore, one can suggest that before 1982, the contribution of rainstorm runoff to the mean annual gully head retreat rate was even less than 20%. Rainstorm frequency was found to have not changed significantly during 1983–2014. The most important contribution to gully growth during the warm part of the year comes from rainstorms with the amount of precipitation above 40 mm per one event.

Keywords: gully head retreat rate, climate change, snowmelt water runoff, rainstorm water runoff, Udmurt Republic.

DOI:10.15356/0435-4281-2017-1-